

## ーサテライト・プラザ ミニ講話・講演ー

会 場 石川県社会教育センター 2階 21 号室

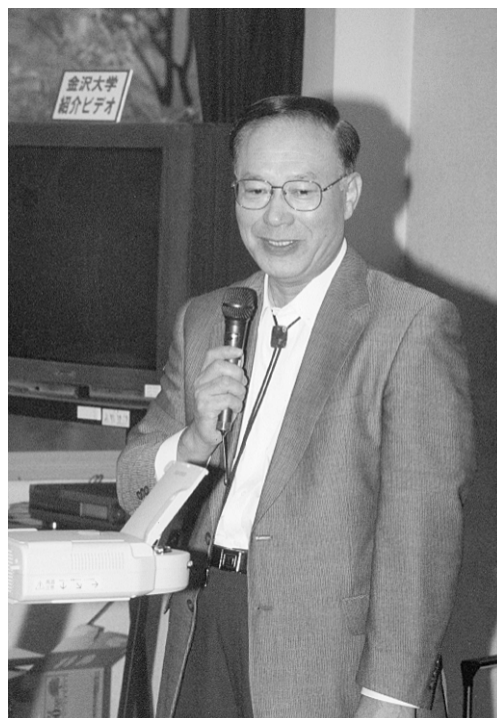
日 時 9月 30 日(土) 午後2時～3時

テーマ 「僕らはみんな星のかげら」

講 師 中西 孝 (金沢大学理学部教授, アイソトープ理工系実験施設長)

### 1. はじめに

(中西) 以前から大学が市民の方によく見えていたかどうか疑問ですが、金沢大学が角間に移転しまして、ますます大学が見えなくなってしまう、これではいけないというので、このようなサテライト・プラザをやることになりました。そのようなことで、サテライト・プラザで何か話をするということを引き受けてしまいました。前に城内におりましたときは、これほど市民の方に開かれたかたちではありませんでした。が、中学校、高等学校、大学の先生と一緒に土曜日に、城内キャンパスの大学を出てすぐのところに喫茶店がいくつもありましたので、そこでお茶を飲みながら、いろいろな世間話や学問の話をするということをしていたことがあります。けれども、角間に行ってしまったら、集まるのはなかなか大変になりました。我々は



化学をやっておりますので「化学サロン」というものをやっておりました。そこで、いろいろな話をしていて、雑談をまとめたのが、この『化学風土記』という裳華房から出ている本です。中学校、高等学校、大学の先生が身近なことを化学の目で、あるいはサイエンスの目でいろいろ見てみんなで書いてみて、本を出すことができました。あまり売れていないようで印税も入ってきませんが(笑)、こんな本がありますので、書店で目につきましたらご覧になっていただきたいと思います。

### 2. 私の所属と専門分野について

今、ご紹介もいただいたわけですが、金沢大学というのは、この会場に置いてあるパンフレットにありますとおり、たくさんの共同研究施設や学内共同利用施設、それから学部、大学院がございます。学部は文学部、教育学部、法学部、経済学部、それぞれにまた学科

やいろいろな課程がございます。多くの方はたぶんこのOHPの文字が見えないと思うのですが、こんな小さい文字で書いても1枚に収まりきらないくらいの組織になっております。私は、理学部の化学科の物質分析講座の放射化学研究分野というところに所属しております。そして、さらに理学部のほかに医学部、薬学部、工学部と、8つの学部が金沢大学にはあります。それから、金沢大学には、博士課程までである大学院に7つの研究科があります。一応、理学部に私は所属しておりますが、大学院の自然科学研究科も一緒に担当しております。その他にがん研究所とか附属の施設もあります。私の名刺に書いてある所属ですが、金沢大学理学部化学科物質分析講座放射化学研究分野と、ここまで書いてあります。あとは電話番号などが書いてあります。化学科の中には3つの大きな講座がありまして、その下に8つの研究分野があります。それぞれ先生方が面白い、世界に誇れる仕事をされております。

私は、放射化学という研究分野をやっているのですが、「放射化学っていったい何だ」というと、分かりにくいのですが、どういう授業をやっているのか、どういう研究をやっているのかということで少しご理解いただけるかなと思います。私は授業としては教養の授業もやっており、教養的科目の授業は輪番でやることになっておりますので、たまたま今年は、2つやることになってしまいました。「放射能・放射線と人間」は2回、「ハロー・ケミストリー」は4回やりました。あとは学部の授業科目として放射化学という講座をやっておりますので、その授業が3つあります。それから、大学院もやらなければいけないので、この授業もやって、その他に研究指導をもちろんやっているわけです。このピンクのラインを引いたのが今年の前期にした授業です。ですから、非常にタイミングが悪かった週は1週間に5回も授業をしなければいけないので、ものすごく大変でしたが、なんとか前期の授業は終わることができました。後期になりますと、また、この細い字で書いてある授業をやらなければいけないわけです。

研究テーマとしましては、私は放射能、特に環境の放射能を主にやっております。そのほかに核反応を利用した分析とか、原子核のいろいろな特性、その一部が消滅核種の問題ですが、それはあとでまた説明いたします。それから、極微量放射性物質の分析法の研究と、このようなことを私の研究室で15人くらいの学生さんと、4年生から大学院の学生さんまでおりますが、一緒にやっております。

結局、これでも何かよく分からないのですが、「放射性元素を通して物質と宇宙・地球を観る」ということになると思います。あるいは「化学の眼と手法で原子核を観る」というようにご理解いただければよろしいかと思います。このような研究は、金沢大学だけにこもってやっているかということ、そうではありません。とにかく利用できるものはどこにでも利用に行っております。今週も月曜日から水曜日まで京都大学の方で原子炉を使う実験に学生と一緒に行ってきました。車にみんなと乗って、実験道具を持って京都大学まで行って実験をしてきました。来週は水曜日に私は授業があつて、休講にできません。ですから、木曜日、金曜日、そして日曜日と月曜日が休みですからちょうどよかったのですが、東北

大学に大きな装置がありますので、それを使って実験を学生さんと一緒にやります。また東京大学には大きな船があります。私は海の放射能もやっておりますので、その 4000 トンの大きな船は、全国の研究者なら誰でも乗れる研究船なのですが、それに乗って北は北極海から南はインド洋までいろいろなところを調べております。というように、金沢大学に入ったからといって、金沢大学だけに閉じこもっているわけではありません。いろいろな大学の施設を利用しながら自分たちの研究を行っています。

### 3. 一般の方に私がお話できるテーマ

さて、今日は星の話をするということにいたしました。私は授業科目で「宇宙・地球化学」という授業を大学院でやっております。その中で詳しい話をしているのですが、その要点を今日お話しします。それから研究の方では、「消滅核種」といいまして、もう地球上にないはずのものが実は地球上で見つかったので、「これはなぜだろう」ということを今一生懸命になってやっております。そんな話を少し、今日は授業と研究内容に関する話を、しようかと思います。

ところで、今日何か話をしませんかということをご提案いただいたときに、では何の話をするのかなと思って考えたのですが、いくつか話をするネタは持っているのですが、それほどたくさんはありません。今日、お話しするのは「元素の起源」ということなのですが、「元素の起源」としてしまうと多分こんなにたくさん集まっていけないので、ちょっと人をだますような、だますという変ですが、このタイトルにいたしました。僕の頭からこの「僕らはみんな星のかげら」などという洒落た題目が出てくるはずがありません。ちゃんとカンニングペーパーがありまして、今年の 6 月に出ました『僕らは星のかげら』という訳本がヒントです。ただ、「僕らは星のかげら」ではちょっと語呂が悪いので、「みんな」を入れただけで何の工夫もしていません。

よく、頼まれて市民の方に、身の周りの放射能や放射線について「放射線をみんなは怖い怖いと言うけど、なぜ、どうして怖いのか」というような話をしに行くことがあります。この話は、今年は 11 月 7 日に七尾で大山のぶよさんというドラえもんの声優の方と一緒にやってくれと言われたので出かけていきます。臨界事故ですが、ちょうど今日は 9 月 30 日です。本当は今日この話をしようかなと思ったのです。ちょうど今日で 1 年目になります。去年のちょうど 9 月 30 日に臨界事故が起きました。最初はかかわるなどとは思っていませんでした。結局深くこの問題にかかわってしまいましたので、新聞とか雑誌とかテレビで言っていない話をずいぶんいろいろ知っています。また、その実態を調べましたので、その話もしようかなと思ったのですが、今日は「僕らはみんな星のかげら」の話にします。

また、放射能をやっておりますと、実は、コンピュータは、放射線にもものすごく弱いので、その問題にも関与しています。いろいろコンピュータが誤動作をするということが世間で騒がれて、知っている人は知っているのですが、放射線によってコンピュータが狂ってしまうのです。よくロケット打ち上げなどでもコンピュータがうまく動かなくて打ち上

げの中止がよくあると思うのですが、これはみんな放射線の仕業なのです。3台か4台のコンピュータを同時に動かしていて、同じ答えが出てきたら、初めてGO！ 打ち上げということになるのです。全部同じ答えを出すことがなかなかないのです。それはみんな放射線によってコンピュータが狂ってくるからです。最近、コンピュータは非常に小さくて高精度になっているのですが、それは非常にまた放射線に弱くなっているのです。このような問題に関することも放射化学という学問でやっているわけです。

#### 4. JCO臨界事故の調査に巻き込まれてしまった私

JCOの話はしないつもりでおりましたが、私がどんなにかわり方をしたかということだけをちょっとお話いたします。去年の9月30日、忘れもしません木曜日でした。この日は、10月1日から大学の授業が始まるので、その授業の準備でバタバタしていて、午前中からこの事故が起こっていたらしいのですが、僕がこのニュースを聞いたのは、夜になってからでした。こんな臨界事故が日本で起こるなんて僕には本当に信じられませんでした。周りの人も誰も臨界事故を信じられない。しかし、翌日になっていろいろ情報を集めてみると、アッ、本当かなとやっと思っただけです。それから、10月2日・3日、土曜日・日曜日は、家でゆっくりテレビの特別番組でいろいろ事故のことをやっておりますので、楽しんで、楽しんでという悪いのですが、見ておりました。4日の月曜日に大学に行きましたら、電子メールがもう何十通と入っていました。僕はこの日から授業が始まっていますので、授業に1時間ほど行って帰ってきましたら、その間にも数十通の電子メールが入っています。みんなで何かやらなければいけないという動きが研究者の中で起こっていました。しかし、みんなが何かやろうと言うけれど、どうやればいいのかと、はっきり指針を持っている人がいませんでしたので、忙しかったのですが、10月6日に急遽計算をしてどういう研究計画でどのようにやったらいいのかということを半日ほどかかって作文し、科学技術庁向けに提出いたしました。

それから翌日に、ちょうど1週間後ですが、始めてJCOの敷地の中に我々の仲間が入ることができたのです。私は授業があつて、翌週には学会も控えていましたので、とても大学から出られる状態ではありません。それで、学生さんに行ってもらって、いろいろとこちらから携帯電話で話しながら、「こういう場所でこういう物を探せ」とか、学生さんから「金がなくなったから、銀行にお金を振り込んでくれ」とか、バタバタしながらやっていました。10月7日にこうして採った試料が翌8日に我々の手元に届きまして、さっそく測定を始めたのですが、測定してみてやっぱりすごいと、本当にすごいことが起こったのだということを初めて僕はこのときに認識しました。

それから、ずっと測定をやっておりましたが、10月23日に私は始めてJCOの構内に入りました。22日は科学技術庁とか、いろいろ役所回りをしました。東海村の役場で村長さんに会ったり、いろいろ協力をしてもらうようお願いして回ったりしていました。そして、23日・24日の土曜日・日曜日にJCOの周りの家を一軒ずつ回って、とにかく証拠

になるものを調べて集めました。放射線を浴びると何かそこには必ず痕跡が残っているの  
で、我々はそれを調べて事故の実態を調べようということをやったわけなのです。これは、  
週末でしたので、たぶん報道関係には全く我々は顔を知られても見られてもいません。我々  
はだいたいそういう日を狙っていたのですが、全く覆面で東海村を歩き回りました。そう  
して、その後も何回か東海村へ行きました。大学で夕方まで用事をして、それから夜行に  
乗って出かければ、翌朝9時にはJCOの入り口に到着することができます。そうして一  
生懸命にやりまして、12月に10月から2か月間あまりで測定したデータをさっそく速報  
の論文に書きました。年賀状も書かなければいけないのですが、そんなものどころではな  
くて、論文を書くのに一生懸命にならなければいけませんでした。そして、その結果が印  
刷されたのがイギリスから出ている環境放射能の学術雑誌です。これには全部で23の論文  
がありますが、そのうちの8つまでが金沢大学でなされた研究です。ですからこの研究に  
おきましては、金沢大学が全国のいろいろな研究機関の中心になって、JCO事故の実態  
を調べるということをやりました。それだけにしておきまして、この話はもうおしまい  
にします。

## 5. 放射能と放射線

それでは、次に放射能とか放射線の話をします。今日ここに来ておられる方はこのよ  
うな間違いはされないと思うのですが、「放射能」と「放射線」をよく新聞などにも間違って  
書かれることがありますので、今日ここにいらっしゃっている方には、そういう間違いに  
気が付いていただきたいと思います。放射能には、2つの意味があるのです。放射線を出  
す能力、または放射線を出す物質そのものを放射能と言います。電球にたとえますと、電  
球は光る能力を持っているし、その光を出す物質です。そこから出てくる光に相当するも  
のが放射線です。ですから放射能というのは、ちゃんとした物質なのです。放射線も物質  
ですが、どちらかというと、エネルギーを持った粒子とか電磁波の流れです。放射能漏れ  
あるいは放射線漏れということがよく騒がれますが、怖いのは放射能漏れです。どちらも  
怖いのですが、放射線は、通り抜けていったら影響は残りますが、それっきりで物質に放  
射線は残りません。しかし、放射能が漏れると、放射線を出す物質が漏れ出たわけですか  
ら、それはやはりいつまでも影響が残るということになります。私はこのような放射能  
とか放射線を手がかりに、物質の研究をやっているのです。

この放射線はどこから出てくるかをついでに言わせていただきます。原子がありまして、  
中学生の方は原子や原子核は習っていないので、分からなかったらあとで聞いてください。  
物をずっと細かくしていきますと、最後は原子という最小の単位になるわけです。我々の  
感覚でいう最小の単位です。もっと細かい成分にまで物理学は研究を進めていますが、我々  
は原子どまりです。この原子には原子核があって、その周りを電子が取り巻いている構造  
をしております。これは高等学校の教科書に書いてあることで、みんなが常識として知っ  
ていることです。放射線はどこから出てくるかというと、原子核から出てくるのです。原

子核はエネルギー状態が高い不安定な状態のときエネルギーを出します。余計なエネルギーを出すのです。自然界というのは不安定な状態から必ず安定した状態になろうとする方向に動きます。水が高いところから低いところに流れるように、必ずそういう方向に自然界は動いています。ですから、原子核もエネルギーが高く不安定であると安定になろうとします。その過程でこのエネルギーを放射線のかたちで出して安定になっていくのです。それが放射線を出すプロセスなわけです。

ちなみにレントゲン写真を撮るときの「はい、息を吸って、止めて」というエックス線は、電子を原子に当てて電子をちょっと興奮させるわけです。そうしますと、この興奮した状態からまた元の状態に戻るときにやはりエネルギーを出します。それがエックス線です。ですから、外から電子を当てることによってこのエックス線を出すことができるので、電子を飛ばすスイッチを入れたときにだけエックス線を出すことができます。しかし、原子核から出てくる放射線は、我々の力で止めてやることはできません。原子核の近くに我々の手を及ぼすこともできません。このように同じ放射線ですが、出るところと出る仕掛けとが違うのです。

## 6. きょうの主題: 元素の起源

さて、そのようなことを前置きにしまして、今日の本論といいますか、「僕らはみんな星のかげら」という題目で「元素の起源」の話の要点をお話したいと思います。詳しい話は、またいろいろ本を読んでいただいたり質問していただいたりすることにします。我々はなぜ星空や宇宙に惹かれるのだろうかということですが、それは「星や宇宙空間が我々の故郷だから」ということを今日お話しして、それをご理解いただければそれで十分かなと思います。このフレーズも、ちゃんとこの訳本に書いてあるのをそのまま盗んできているので、私の頭から出てきたものではありません。大学の授業とか、研究そのものをお話ししますと、とてもではありませんが、みなさんについてきていただくことができません。とにかく引き算をして、余計なことを全部引いていって本質だけをお話するということをしない限り、1時間弱でこういう話はできません。何をどう引くかは、今日の顔ぶれに中学生の方もおられる、こういう方もおられると見渡ししながら、「何を引き算しようかな」とさっきからしゃべりながら一生懸命今考えているわけです。

ということで「元素の起源」をお話しします。我々の身体をつくっている、あるいは我々が目にしている物質をつくっている元素とは、いったいどこでつくられたのか。これは、放射能をやっておりますと、必然的にこの問題に突き当たってしまいます。あとで申しませんが、我々の宇宙の年齢というのは約150億年、あるいは130億年、あるいは120億年とか、いろいろ説があります。しかし、この宇宙の年齢は大体分かってきているのです。我々が放射性の物質を扱っておりますと、半減期の長いもので、大体このようなものがあります。例えば宇宙の年齢を130億年としますと、13億年の半減期のものは本当はもうほとんどなくなっていていいはずなのです。しかし、それが現に地球上に、トリウムにしてもウ

ランにしてもカリウムにしても存在します。なぜだろうということです。そこをずっと遡っていくと、結局現在地球にある元素というのはいったいどこでつくられたのかという問題に突き当たって、我々はそこから何か答えを引き出そうとするのです。

いきなり、このような元素の起源の研究が始まったわけではありません。現在かなりのことが分かってきておりますが、まだ、分からないことが非常に多いのです。ですから、今、多くの学者が知恵を絞ってこの問題に取り組んでいるわけです。ということで、結論から言ってしまいますと、大部分の元素は星の中でつくられました。星といってもこれは恒星です。自分で光を出す星です。星の中での元素合成に関する最初の論文は1957年に出ています。100ページくらいある論文です。私が大学に入ったのが1963年で4年生のときにこの100ページの論文を読みました。ほとんど分かりませんでしたが、とにかく、すごい論文が、私が大学に入るちょっと前くらいに出ていました。その辺から、私はこの研究に興味を持っていましたので、その頃から後のことは大体フォローしています。自分でも少し研究しながらフォローしているわけです。

## 7. エックス線の発見が引き金になった元素の起源の解明

この元素合成の考え方にたどりつくまでに、では何があったのかとずっと戻っていくと、最初はやっぱ1895年のエックス線の発見にたどりついてしまいます。エックス線の発見も単独で出てきたわけではなくて電気の研究から出てきたのです。電気は、針金の中を流れてくれるけれども、空気の中を電気は流れてくれない。なぜだろうということで研究していました。そして、真空の中を電気を流してみたら、エックス線が出ることが分かりました。それが引き金になって放射能の発見がされたのです。これも、話をしていると長くなりますので省略しますが、放射能が発見されたのは1896年です。

それから、放射能の発見が引き金になって同位体が発見されたり、原子核反応が発見されたりしました。さらに、先程の原子核のモデル、我々が常識と思っている原子核のモデルが完成しました。そして、陽子、中性子を原子核の中に閉じ込めている力の本質は何かということが発見されています。また、太陽系に元素がいろいろ存在しますが、この元素もどんな元素がどんな割合であるのかということを一生懸命分析して、データが出はじめました。

それらを元にして、元素というものがいったいどうやってつくられたかということが解き明かされてきたわけです。私は、化学をやっているのですが、原子核はほとんど化学では取り扱いません。化学で扱うのは電子なのです。原子核というのは、



本当に小さい点みたいなものなのですが、これはどちらかというと物理の世界なのですが。しかし私たちは、この原子核と電子のお互いの相互作用を、または原子核を化学の眼で見て、原子核を化学の研究に使う。このようなことをやっているわけです。多くのほとんどの化学は、電子の世界を取り扱っております。ですから、電子が原子同士の間でどのようにやり取りされるのか。それが結局いろいろな化合物をつくるということになるわけで、新しい物質をつくるにしても何にしてもこの電子の振る舞いがよく理解できないと、化学というのは分からないし、研究を進めることができないのです。ですから、電子のことを非常によく分かっている人は、どんどん新しいものをつくったり、その物質の性質を理解したりできるのです。電子の振る舞いを理解するときには、どうしても数学や物理学の知識が必要になってきます。

ということで、先程の年表で示しましたように原子核の性質をいろいろな人が調べました。この図は横軸に質量数、縦軸に結合エネルギーとありますが、これを説明しますと、重くなるに従ってある質量数のところまで原子核の安定性が増し、それから更に質量数が増すと安定性が低くなっていくという規則性が原子核の研究から分かってきました。質量数が小さい部分だけを拡大してここに示してあります。我々が知っている元素は、いったいどうしてつくられたのかということを知りたいという大きな出発点になっています。要するに原子・元素が存在するということは原子核が安定でなければいけない訳ですから、原子核について「なぜ、安定なのか」、「どれくらい安定なのか」ということが分かってきて始めて、元素の起源の議論ができるようになったわけです。

なお、この図を専門外の方に見せるのは本当はよくないのです。こんな元素記号などを見せると、こんなもの読めないと言われるからです。記号で示せば一発で終わるのですが、翻訳しておりません。さて、これは太陽系の元素存在度です。横軸に軽いものから重いものまで順番に並べてあります。太陽系の中では水素、ヘリウムが一番多くて、それから鉄も多い。このような傾向は、主にいん石の分析から分かったことです。いん石が落ちて、それを調べるのです。いん石というのは、確かに珍しい物質です。どういう学術的な意味があるのかというと、この太陽系の元素存在度、太陽系とはいったいどういう元素存在度をしているのかを、さらに詳しくみんなが精度を上げる研究を隕石を手がかりにして、やっているわけです。

大筋の傾向は、重いものほど存在度が低いということなのですが、さらにこのようなこぼこがあります。なぜだろうということも研究されているのです。鉄付近の元素が多く、さらに重いものがまた少なくなっていく。これは何を意味しているのだろうということを考えたわけなのですが、答えを聞けば、ああ、そうかとすぐ分かってしまうのです。なぜこうなるのかと初めて考えた人は大変偉い。この人はノーベル賞をもらいました。結局これは軽い元素を材料にして重い元素をつくっていったということを示しております。ですから、水素からヘリウムをつくって、ヘリウムの先が大変難問で、これを解くのに相当時間がかかりましたが、一応、これを理解、突破できました。順番に炭素、窒素、酸



素などができていったという道筋が明らかにされてきたわけです。この話のもとになる原子核の反応とかいうことには今日は一切触れません。ただ、そのあらすじだけを今日はお話いたします。

## 8. 元素合成のあらすじ

さて、元素の由来について現在我々はどのような理解に到達しているのかといいますと、大体 150 億年前、この年代も我々の理解を超える時間なのですが、そのときに宇宙が誕生して、水素ができました。水素は何からできたかということと中性子が水素に変わりました。中性子は放っておきますと水素に変わります。では、この中性子をどうやってつくったのだと言われると、それはもう分からなくなってしまうです。ですから、宇宙がどのように始まったのか、どうしてできたのかを、今物理の先生たちが一生懸命に研究しているわけです。ですから、若い学生さん、生徒さんたち、たくさんおられますけれど、この辺に非常にまだ挑戦を待っているテーマがいっぱいあります。

宇宙の年代が 150 億年と無造作にここに書きましたけれど、これもまだ正確に分かっていないのです。大体こんなところだろうということで間違いないのですが、これもいささか怪しいのです。おおざっぱに 150 億年前と言いましたが、その時に水素がつくられて、水素から少量のヘリウムもできたわけです。しかし鉄などは宇宙の最初からあったわけはありません。では、どこでできたのか。これもずいぶん謎を解くのに時間がかかりました。原子核反応を丹念に追いかけていきますと、結局、恒星という自分で光ることのできる星の中で水素やヘリウムが材料になって、炭素、酸素、鉄、ニッケルとか、鉄が一番安定性が高いわけですが、その辺まで星の中でできてきました。その過程でエネルギーを出します。全部核融合反応なのです。水素からヘリウムをつくる、この辺が要するに水爆と同じです。それから、水素、ヘリウムから炭素、酸素を作る核反応が恒星の中で順次起こっているのです。

水素からヘリウムをつくる段階がなぜ爆発的に瞬間的にボンといって終わってしまわないのか。じわじわと燃えて星が光っているのはなぜか。これも原子核反応を調べていきますと、ちゃんと非常にうまい仕掛けがあることが分かってきました。暴走しようとする、その暴走を食い止める仕組みがあるのです。止まりそうになるとまた燃え出し、太陽がコンスタントに燃えてくれる仕組みがあるということが分かってきました。そうして、どんどん重い元素が星の中で溜まっていきますと、最後は重くなって、その星は爆発をします。それを超新星爆発といい、我々の銀河系で大体数十年から百年に 1 回くらいずつ起こっています。超新星爆発が見つかる、すぐ新聞やテレビで報道されています。超新星爆発は星の最後です。その爆発の瞬間に金やウランなどの重い元素がつくられたということです。原子核反応の研究からそういうことが言えるようになってきました。現に超新星爆発は、非常にすばらしい望遠鏡などで調べることができますので、それで調べてまさしくそういうことが起こっていることが証明されております。

それで多くの元素が水素からできたわけですが、いろいろな元素をつくった星が超新星爆発しますと周りに飛び散ります。飛び散りますと、今度はそのショックでまた近くにあった水素ガスが収縮します。まだ、恒星にならない水素ガスがたくさんありますので、それがまた収縮して2代目の恒星が生まれるのです。それがまた星の一生をたどって超新星爆発を起こします。そんなことが何回か繰り返されて、現在の我々の太陽ができたのです。ですから、我々の太陽というのは、宇宙のはじめからいうと何代目の星になるのか、生まれて爆発して、生まれて爆発しての繰り返しの何代目なのかははっきり分かりません。しかし、大体約50億年前に我々の太陽系を作った元素の大元になった、超新星の爆発が起こったと言えるようになっておりますが、これも「約」50億年前なのです。太陽系ができたのは約46億年前ですが、この約4億年の間に何が起こっていたのか、これもいまだに謎です。ですからこれを解くために、あるいは50億年前にいったいどういうことが起こったのかを解くために、いろいろ元素の分析とか観測を、たくさんの人が行っております。そのためにハッブル宇宙望遠鏡とか、ハワイの山の上にすばる望遠鏡をつくって宇宙を一生懸命観ているのです。いん石の分析からもこのような研究を行っているのです。みんなで宇宙や太陽系の歴史を解き明かすための研究を行っているのです。

結局、約46億年前に我々の太陽系ができたわけですが、そのとき最初の宇宙のはじまりのときにできた水素、ヘリウムは、太陽にほとんど集まりました。そして、一部の水素も含めて約90種類の元素が惑星に集まって現在の太陽系ができたということです。非常に粗っぽい言い方でその筋道をお話ししております。宇宙の年齢を約150億年と書きましたが、これも、しょっちゅう新聞にこういう記事が出るので、皆さんは注意して見ておられるといいと思います。宇宙の年齢というのは、120億年といたり、130億年、135億年になったり、150億年になったり、これはまだ確定しておりません。いつ宇宙が始まったのかということを調べることも、これが分かったからといって金持ちになれるわけでも何でもありませんが、我々はやっぱり非常にそういうことに興味を引かれます。それに興味を持って研究している人はたくさんいます。

先程言いましたことをポンチ絵にしますと、最初ビッグバンで中性子ができて、それから水素ができて、そしてヘリウムも少しできて、水素ガスの濃いところで星が生れて、そして太陽のような星の中で水素以外の元素がつくられたということです。そして、星が爆発する瞬間に鉄以上の重い元素までできてしまうという筋書が現在描かれているのです。大筋ではということなのですが、細かいところまでは全部十分に説明はされておられません。

この図は横軸に中性子数、縦軸に陽子数をとったものですが、濃く塗りつぶしてあるのが安定な原子核、安定な同位体なのですが、それぞれの元素にいくつか同位体があります。この同位体組成の由来も完全には説明されていません。なぜそうなったのかこれから解き明かさなくてはならないことです。そして、原子量などというのは化学の世界ではみんなが使いますが、我々が使っている値は宇宙の隅から隅まで通用するものではありません。

我々の太陽系だけでしか通用しない値です。よその星へ行ったら、少し別の原子量を使わなければいけないのです。我々の太陽系をつくる元になった元素をつくった星の爆発はどうだったのか。それをはっきりさせる必要があるわけです。

今お話ししたことはちょっと分かりにくいかなと思って、こういう絵もつくりました。最初にビッグバンで水素がつくられて、それがあるところで集まって星が光りはじめました。水素が集まりますと温度が高くなって核融合反応が自動的に始まります。この中で水素、ヘリウムを元にして鉄までの元素ができます。鉄が多くなると星が収縮して、最後は星の臨終の超新星爆発を起こすわけですが、この超新星爆発の瞬間にさらに重い元素がつくられます。そして宇宙空間にいろいろ「星のかけら」を散らばすわけです。これが今日表題に挙げました「星のかけら」ということになります。

そのかけらが別の場所で、まだ星をつくるまでに至っていないモヤモヤとした星間雲、それはほとんど水素なのですが、そこにショックを与えるとこれが収縮を始めて、また中央に星が光りはじめます。ここでまた元素合成が始まるということは何回か繰り返した末に我々の太陽系ができあがったわけです。爆発を何回繰り返して現在の太陽系に至ったのか、これはまだ十分には分かっていません。また、現在太陽系をつくっている元の超新星爆発というのはいったいどんな爆発だったのか、それもまだ、よく分かっておりません。そのためにいろいろな元素、あるいは同位体を調べるということをやっているわけです。たくさんの人が、腕利きの分析屋や、これに関心のある人が調べている、それが宇宙科学という研究分野なのです。

## 9. 惑星は太陽の周りのゴミ屑のような存在

現在の太陽系ですが、地球というのは、結構大きい、重いものだと、みなさん自分の体重に比べてそう思っているでしょう。太陽系の質量をどうやって測ったかも実は本当は疑問に思っていたきたいわけです。地球の目方なんてどうやって測るのだ。太陽の目方なんかどうやって測るのだ。測ってみろといわれて測れるかな。簡単には測れない。頭のいい人が測定と計算をしてこの数字を出してくれているのです。ですから、この数字を出すためにも数学、物理学がしっかりできていないといけません。さて、太陽はほとんどが水素ガスですが、太陽系の質量の 99.87% を占めていて、太陽系の質量のほとんどが集中しています。そして、惑星の水星、金星、地球とありますが、その重さを全部寄せ集めても、太陽系全体の 0.13% にしかありません。ですから、太陽系の中の惑星、地球などというのは、もうごみ屑みたいなものなのです。大部分の質量が太陽に集まっているのですが、この惑星を調べることによって、太陽系の起源あるいは太陽系をつくった物質（元素）がどこでどのようにつくられたのか、より詳しいことをみんなが調べようとしているわけです。

## 10. 太陽系は外部に開いているのか閉じているのか

では、このような元素の起源、太陽系の起源の問題について、金沢大学の私たちは何を

やっているかといいますと、消滅核種を研究しています。このように半減期の長いものが現に地球に存在しています。しかし、自然界で見つけることができるのは、半減期約7億年のウラン-235 までです。ウラン-235 は原子力発電に使われるものですが、これよりも半減期の短いものは、地球上で自然には見つからないのです。人工的につくればもちろんあります。半減期7億年以下のものは地球上に無いと、ずっと長く信じていたわけです。ところが最近になってプルトニウム-244 という、1億年にも満たない半減期のものが地球上に存在することが見つかりました。地球の年齢が46億年とすると、そのときにあったとしても、このような0.8億年のものは当然現在の地球上にほとんど存在しないはずなのです。半減期0.8億年のものが約50億年前につくられたわけですが、そんなものは今残っているはずがないと思っていたものが地球上で見つかりました。これはなぜだろう。さらにそのほかの可能性として、私たちは1億年の半減期のサマリウム-146 というものですが、これも地球上に存在するかどうかを今一生懸命になって調べています。どのような物を調べているかといいますと、深海底のヘドロを集めてきて、その中にプルトニウム-244 などの消滅核種が集まっていないか調べています。実は、消滅核種が地球上に見つかるということが本当に確かであれば、地球や太陽系が宇宙に向かって開いていて、太陽系の外から太陽系にいつも物質が流れこんでいるということを示すことになると思います。

今まで太陽系というのは外部に対して物質レベルで閉じているのか開いているのか考えてみる人が殆どいませんでしたが、我々は、太陽系は宇宙に開いていて外からいつも物が流れ込んでいるのだということを消滅核種の研究で証明しようと研究しています。この我々の研究は、去年やっと一部が完成しまして、国際共同研究に発展しています。海底の泥を分析しましたら、宇宙から流れ込んでくるプルトニウム-244 量の上限值を得ることができました。今海底堆積物からプルトニウム-244 やサマリウム-146 を検出することをしておりますが、いずれ誰か若い人に南極に行ってもらって南極の氷をたくさん溶かして、宇宙から来るチリをたくさん集めてきて研究したいという計画を持っております。そのようなことを金沢で行っておりますが、金沢だけではできませんので、世界中どこでも使える装置があったらそれを使いに行くという姿勢で、この研究をみんなで協力して行っているわけです。

## 11. 人体の元素組成

次に、「僕ら」という人間について見てみます。この図は我々人間のからだにどんな元素がどれだけ含まれているかを示しています。いろいろな元素を我々の体は持っております。しかし、重さの百分率でいきますと、大体、酸素、炭素、水素、窒素、カルシウム、リン、硫黄でほとんどを占めてしまいます。これが我々の体の構造をつくっている元素になるわけです。よくテレビのコマーシャルで「人間の体の70%は水です」と言っていますが、この酸素と水素を足し算すると75%になってしまいますが、水ではない酸素と水素もありますので、70%が水だということを言っているわけです。そして、我々の体重に0.65を掛け

れば自分の体の中に酸素をどれだけ持っているかが分かります。水素は、先程言いましたように宇宙が始まった約 150 億年前につくられた元素です。一方、酸素、炭素、窒素、カルシウムという元素は、星の中でつくられた元素です。水素を元にしてつくられてきたわけですが、まだ、星の中で燃えていない水素も我々の体に含まれているのです。ですから、我々の体の中には約 150 億年前につくられた水素と約 50 億年前に爆発した星の中でつくられた元素が含まれているのです。そういう長い長い宇宙の歴史を我々は自分の体の中に持っているのです。

ですから、元素という立場で見たら、みんな一人一人、お父さん、お母さんがいますが、もっと遡ればみんな同じ兄弟なのです。同じ起源の元素を元にして私たちの身体がつくられているのです。一方、原子の数でいいますと、我々の体に持っている元素の原子の数の 63% は水素です。ですから、本当に宇宙の最初にできた元素を、我々は体の中に原子の数としては一番たくさん持っている。そのほかの元素は太陽のような恒星の中でつくられて、それが太陽系に持ち込まれて、地球上で生命が誕生して、これが我々の体の中に入っているわけです。原子数にしたら、水素、酸素、炭素、窒素というたったの 4 元素でほとんど 99.9% までになってしまうのです。4 元素はほとんど体の構造をつくっている元素です。一方、微量元素というのは、体のいろいろな機能の調節をしてくれている元素になります。微量元素というのも非常に大事で、本当はその話もしたかったのですが、いろいろ体の重要な機能を調節することに効いています。いずれにしても、自分のからだにもっている元素の歴史をたどってみると宇宙 150 億年の歴史になるのです。

今日は中学生の方も高校生の方も来ておられるので、こんな OHP もお見せします。一応、まとめなのですが、約 150 億年前に我々に見えている宇宙の始まりがありました。では、その前はどうかだったかということ我々には何も見えないから、その前の議論はできません。物理学を研究している人達は、これを理論的に一生懸命に物質の根源の解明ということで調べています。私は化学をやっておりますが、金沢大学には物理学の先生でこういうことを一生懸命に研究されている先生がおられます。また、そういう先生の話聞く機会があるかと思います。約 150 億年前につくられた水素を元にして太陽系の大部分ができて、約 50 億年前までに光っていた星でつくられた元素も元にして地球が約 46 億年前にできました。そして物質が我々の世界に存在するわけです。物質を扱う学問は化学であり、地球そのものを研究するのが地球学という分野になります。それから、約 30 億年前に生命が誕生して進化してきました。生命のいろいろな不思議を解明するのが生物学、あるいは生命学といわれる分野です。

今、遺伝子解析のことをテレビなどでご覧になっていると思うのですが、非常に複雑なものにまで生き物は進化しました。その進化の過程で約 20 億年前に光合成をする生物が地球上に現れて大気中に酸素が出現したわけです。地球大気には最初から酸素があったわけではありません。約 20 億年前に地球上の大気に酸素が現れて、そして約 500 万年前に人類の先祖が生まれました。これは 700 万年といわれたり、600 万年といわれたり、みんな「約」

がついていますが、まだ確かなことが分かっていません。人類の起源も、まだまだ研究しなければいけない余地があるということです。

## 12. 学問の分化について

どこから人類というかが問題ですが、人類の歴史を研究するのが人類学という分野です。類人猿から猿人、原人、旧人、新人とたどって現在に至っているわけです。この原人あたりから、火を使ったり、道具を使ったり、狩りをしたり、農耕をしたり、牧畜をしたり、そうして人間は文化と文明を進歩させて現在に至っています。人間が増えてくるといろいろとイザコザが起こりますから、政治やら経済やら法律も研究しなければいけないということになってきます。人間に余裕ができてきますと、文化というものが生まれて、文学だの歴史だの、それから人を教育するとか、いろいろな思想、宗教とか、いろいろな科学技術、医学など、いろいろな学問が人間の世界で細かくどんどんできてくるわけです。

さらに最近では、計算機の進歩によって計算科学という分野も理学部に生まれております。理学部の中に今6つの学科があります。数学は何をやるにしても絶対必要です。数学ができなかったら、本当は式1つ書けば済むことをくどくど書いてみても、それはなかなか歴史に残りません。数式で表現するしか手がないのです。ですから、数学はすべてのサイエンスの基礎になります。数学、物理学、化学、地球学、生物学、計算科学というこの6つの学科が理学部にあるわけですが、これはもうすべてこの宇宙のはじまりから現在のところまでを、基本的なことを全部カバーしています。自分の専門分野のことだけを言うといけけないので、その他の学問分野のことも言うておきます。文学を研究する文学部、教育学部、法学部、歴史は文学部の中にあります。あるいは言語とか、経済、医学、薬学、工学、いろいろな学問分野は、多分ほとんどは人間がつくり上げた社会の中で生まれてきたものなのです。人間がいるいないにかかわらない部分、その辺からやっているのが理学部の研究になるかと思えます。

しかし、理学部へ行っても銭もうけにならないと言われて反論はできませんが、このようなことに非常に興味を持って、まだ分からないことがいっぱいありますし、これから中学生、高校生の諸君の挑戦を待っている問題がたくさんあります。そういうことを今日話したかったわけです。そんな動機づけにどれだけなるか自信はありませんが、中学校、高校のつまらない、つまらないというか大変つらい勉強に耐えて、その向こうにこんな面白い研究がいっぱいあるよということでがんばってほしいなと思っております。以上です(拍手)。

(中西) 何か不思議だと思っていることはありませんか。僕にもたぶん答えられないはずなのです。そして、答えられなければ、「俺がそれを解いてやろう」と思ってがんばってほしいのです。不思議に思うことないですか。

(質問) 放射線というのは、この部屋の中にやはりあるものでしょうか。

(中西) はい、あります。先程言ったようなウランとか、カリウムなどから出ている放射線があります。カリウムなどというのは、みんなは必ず摂らなければいけない元素ですが、その中に必ず放射線を出すものが入っています。我々が食事からどれだ



け放射性物質を食べているかということを別の機会に話そうと思いますが、ずいぶん食べています。自分の体の中にも持っていますし、この建物の中にもあります。

この、OHPでさっき言うのを忘れていたのですが、地球上で生命が誕生して進化してきました。単細胞から複雑な生き物になる進化のプロセスを見ると、お母さんの中で赤ちゃんが成長していく過程と同じで、生物の進化をかなり忠実にたどっています。1つの細胞から複雑な人間の形になるまで、生物の進化を、おたまじゃくしみたいな形の段階も経て、たどっています。一方、人間の形になってから、実は人類はこのように発達してきたわけなのですが、この発達の過程をたどることも重要ではないかと考えています。

昔は道具を自分で作って野原を駆け回り、農耕をやっていました。しかし今は、生まれたときから非常に便利な世界になってしまっていますから、ボタンを押せば何でも買えるし、テレビも見られるし、あまり不思議に思わなくても済むのです。そういう時代に今の中学生や高校生の人たち、あるいは大学生もそうですが、育っているので、何かちょっと欠けています。人類の進歩のプロセスのどこかを飛ばして、いきなりポーンと現在の非常に便利な世界に飛び込んでしまっているの、そこに何か人間形成上の問題があるのではないかなというのが、僕の感じ方なのです。

ですから、少年犯罪に少年法とかで対応してみても、そのようなことで根本的に解決するはずがないのです。もっと人間の原始的な部分で解決しないと、たぶん根本的な解決にならないのではないかなということを、このOHPをつくりながら僕は感じました。道具をつくったり自然と向き合ったりという、人類がたどってきた道すじの経験が不可欠だと思います。

また、何でも不思議だと思ってほしいのです。教科書に書いてあることをすべてだと思わないでほしいのです。分かっていることしか教科書には書いてないからです。教科書を読んだら、それですべてのように思うかもしれませんが、分からないことは書いていないのです。教科書に「これはわかりません」などと誰も書いてくれてはいないのです(拍手)。